

超音波による布の洗浄について (第一報)

奥 山 春 彦・阿 部 け い 子

WASHING OF FABRICS BY ULTRASONIC IRRADIATION (I)

By HARUHIKO OKUYAMA AND KEIKO ABE.

序 論

1. 超音波洗浄の現状

時計などの精密機器、ベ어링、トランジスターなどの洗浄仕上げに最近急速に超音波が使用されはじめた¹⁾。例えば昭和31年には超音波洗浄機は日本全体で僅か55台に過ぎなかったものが34年には850台となり、超音波の全工業的応用分野のうち76%を洗浄がしめていることになる²⁾。この需要の著増は弱電技術の進歩によることは勿論であるが超音波洗浄が従来のブラシ洗いに比し種々の点で勝れているからである。即ち洗浄仕上げの質的な向上と洗浄時間の著しい短縮が超音波の使用により達せられる。更に洗浄過程のオートメーション化が容易であり、ブラシ洗いの行い難い部分の汚れまで洗浄しうるなどの利点もある。繊維工業に於ても化学繊維を絲にひく Nozzle の掃除に用いられている。

繊維品そのものの洗浄については超音波は繊維材質及びその多孔的な組織により吸収を受け減衰が著しいために超音波吸収のない金属から主として構成されている機械部品の場合と異って洗浄に必要な超音波エネルギーを被洗物全般にゆきわたらせることは現状では技術的にも経済的にも困難である。しかし織機からの機械油などが点状又は線状の油污れとして付着した織物などには超音波洗浄は適切であると考えられる。機業家の組合で共同使用を考慮しているようである。実際著者の依頼を受けた試験結果でもナイロン靴下の油污れは洗浄液としてトリクレンのような有機溶剤をつかって合成洗剤水溶液を使用しても何れの場合でも僅か数秒以内の超音波照射で肉眼的には油污れが取り除かれることが見られた。更に一般家庭から高級織物などに付着した種々雑多なしみぬきを依頼されるクリーニング業者の一部には超音波洗浄に期待をよせているものもある。

超音波洗浄は主として現在機械工業において使用され応用が先に進んでいるが^{1), 2)} どのような周波数、強さの超音波が有効か、また照射時の姿勢の問題とか洗液の種類の問題などに関して組織的基礎的な研究は未だ行われていないようである。このことは金属製品のような平滑な表面をもち且つ超音波の吸収のない材質に付着したよごれの除去に対して超音波洗浄は兎も角著効があるので基礎的研究の必要性がさして生じないこともその一因と考えられるが繊維製品のような複雑な組織をもっているものに対し超音波洗浄を適応せんとするには基礎的な研究が先行しなければならない。

2. 汚垢布の洗浄過程と超音波の働き

繊維品の汚垢が一般に洗浄除去されていく経過は複雑であるが次の三階段に分けて考えてみよう。即ち先ず洗液が多数の毛細管の集合体とみなされる繊維組織内に侵入し、かつ付着している汚垢と繊維の隙間に拡がらんとする過程、第二には付着している液体又は固体の汚垢を洗液中に溶解するか又は乳化、分散し且つ保護して洗液中に保持し繊維上に再沈着することを妨げる過程、第三にはそれらの溶解或いは乳化、分散した汚垢を繊維の組織外に運び出す過程にわかちうる³⁾。

洗液自体の界面化学的ないしはコロイド化学的特性、即ちその表面張力、繊維及び汚垢に対する界面張力、接触角、吸着膜の性質、洗液の粘性係数などは、第一、第二の過程に関与し、他方洗浄のさいに加える機械力は第三、第二の過程に関与するものである。

超音波洗浄はこの機械力を超音波によって与えるもので通常の洗浄の際のみ洗い、ふり洗い、又は電気洗濯機などの機械力に比しはるかに強力なものである。たとえば油を水中に分散する場合に超音波を使用すると攪拌や振盪などによる場合に比しはるかに小さな粒子をもつエマルジョンがえられるしまた凝集した固体粒子は超音波の作用により水中で一次粒子にまで分散され他の分散法で得られたサスペンションより粒子が細くなる⁴⁾。超音波のこの強力な乳化分散作用はキャビテーション⁵⁾といわれている空洞の発生及び消滅によりひきおこされるものであるといわれている。即ち強力な超音波が液体中を通過するとき圧力振巾によりある瞬間に液体中で大きな負圧を生じるためにその部分に空洞が生じ次の瞬間にはこれがつぶされる。その時その空洞周辺に大きな水力学的歪力が生じその付近にあった液体又は凝集体の粒子がこの歪力によって細分されるのであろう。キャビテーションの発生のほかにも超音波は二相の界面では複雑な反射干渉により界面附近に攪乱を生じまた音圧による直進流が起りこれらが総合されて強力な攪拌作用を行うことになる。

洗浄の第二の過程、汚垢の乳化、分散又は溶解などに対してもまた第三の過程の汚垢を洗液中に運び出す過程に対しても超音波は有効に働らくことが推定される。しかしながら一方において超音波には洗浄に対して好ましくない反対の作用即ち凝集作用を有している。凝集作用の生じる機構も二、三、考えられるが要するに分散された粒子が音場中では相互の衝突の機会が増加することに起因するものである⁶⁾。この凝集作用の程度は分散粒子の大きさとその分布及び照射する超音波の振動数に依存する。よって照射される系の分散度に応じて照射すべき超音波の周波数を適当に選択することによりこの超音波の相反する二つの作用、分散と凝集のいずれかをより重点的に利用出来ることになる。この点に関して詳細な議論は別の報告で改めて論じるが⁷⁾、ここでは汚垢と布のような粗大分散系において汚垢を乳化分散して洗浄の目的を達するには低い周波数の超音波の方が都合がよいと推定される。勿論この場合でもある程度の凝集作用が超音波洗浄に必然的に附随し分散した汚垢の布への再沈着即ち再汚染が通常の洗浄に比し増大し洗浄効率を悪くする恐れがありこの点に関して洗液の化学的組成の選択が重要となってくる。

3. 本研究の目的

洗浄力試験法委員会の約10年に亘る研究成果により一定条件の標準汚染布がつくられLaunder-

O-meter による洗浄力試験法が確立せられ個々の洗剤の洗浄性能の比較が行なわれるようになった⁸⁾。しかしながら人工汚染布が現実の自然汚れ布を果して代表するものかという問題は別にしても、これは Launder-O-meter という一定の機械力による試験法であって、洗浄力というものは機械力をも含めた多数の変数の函数であるからこの試験法の結果はこの多次元曲面の機械力一定とした平面によるある一つの断面を与えるに過ぎない。換言すれば Launder-O-meter による洗剤の比較が一応なされたとしてもそれは機械力の異った洗浄機を使用した場合にはそのままなりたつとは限らない。洗剤の洗浄性能の順序の逆転もありうる訳である。

Launder-O-meter により与えられる機械力はその機構から推して汚染布がボールと共に約10cm程度の距離を洗液中でゆるやかに反覆往復（1分間42回転で30分間運転せしめるから1200～1300回の往復運動）するだけのもので再現性においては勝れているが力としては大きいとはいえない。現在主として家庭で使用されている噴流式電気洗濯機の与える力より遙かに低いものである。

洗浄の場合の慣用語にしたがって本論文では“力”という言葉を使用した。“Force”ではなく“Power”であって正確には仕事率又は工率の意であり、そのうち洗浄のために有効に働らく仕事はこの工率に時間と効率（Efficiency）を乗じたものである。力学的な意味でのこの洗浄の効率*は非常に小さいものであることが推定せられるが勿論洗浄に使用する機械力の種類によって変化する。

超音波洗浄の場合は超音波の直進性のために限られた面積に強いエネルギーを集注せしめうる。したがって洗浄の機械力としては他の機械力とは桁違いに大きく他には見られない効果が期待されるし他の方法で得られた結果と比較検討することによって洗浄の機構を解明する手掛りをうることになる。

第二の目的としては実用的見地から布類の超音波洗浄が機械類の洗浄のように著効があるかどうかを調査吟味することにある。

超音波洗浄に関連あるとみられるものに電磁石により可聴音領域の振動を鉄板に与え、これを洗液中に伝える電磁振動型洗濯機が使用されたこともあるが⁹⁾騒音の大きい故もあって現在ではかえりみられない。この型は振動により洗浄するという点で一見超音波洗浄に類似するようであるが、エネルギーが弱く液中でキャピテーションが発生するとは考えられないのでキャピテーションが主役を演じる超音波洗浄とは全く別のものである。布類の超音波洗浄も二三試みられているようであるが著者の知る限りでは国内及び国外に学術的な論文は見当らない。

この論文では第一報として超音波洗浄が他の洗浄法に比しどの程度効果があるかまたどのような条件で行うと能率がよいかなどを明らかにするために布一汚れ一洗液のいろいろの組み合わせについて超音波洗浄を行い数多くの実験の集積に先ず努めた。

* 加えられたエネルギーの何割が洗浄仕事につかわれたかを現わすこの効率超音波洗浄では他の洗浄法に比して極めて低いであろう。

後で述べる洗浄効率はこの工学的な効率とは全く異なる。家政学会で使用されているこの述語は汚垢除去率（例えば Percentage soil removal という言葉を J. C. Harris は “Detergency Evaluation and Testing”, Interscience Pub., 1954 中で使用している）又は単に洗浄率といった方がまぎらしくはなくよいと思うがここでは慣例にしたがうことにした。

実験方法

1. 超音波発生装置

序論でのべたように洗浄には低周波の超音波が適していると考えられるので超音波としては低周波に属する磁歪式25KC, 出力150Wの超音波工業KK社製のものを使用した。本器はニッケル振動子の先端に共鳴ホーンを附したものでホーン先端部は約 1.8cm^2 の面積をもつ円板形のもので振動子の全エネルギーをこの先端部に集中せしめ先端から強力な超音波が伝達されるようになっている。なおニッケル振動子全体は水道水を循環冷却せしめた。

2. 超音波洗浄の方法と姿勢

直径約10cmのガラス製平皿に $4\text{cm} \times 6\text{cm}$ の汚染布を入れ洗浄液の一定量(50cc)を加えてその上方に垂直にホーン先端部を漬け一定時間(2分間)超音波照射を行った。標準汚染布を0.2%洗剤溶液につけ洗浄を試みた一連の予備実験の結果をまとめると以下のようになる。

(1) 超音波の入力調節ダイヤルで出力を加減できるが最初は超音波強度が大きい程洗浄効果は上がるが強度がある程度に達すると飽和値に達しそれ以上強度を上げて効果は殆んど上らない。よって飽和値に相当する調節ダイヤル7で以下の実験を行った。

(2) 被洗布と発振端の距離をある程度までは接近せしめる程洗浄効率は増す。よって汚染布と発振端の距離は1~2mmで以下の実験を行った。

(3) 汚染布を液面と液底の中間に張った位置で照射した結果と平皿の底においたまま照射した結果を比較すれば背面の液が豊富で自由に動きうる前者の方が予想に反して洗浄効果が悪い。よつて汚染布は平皿上に密着した位置で洗浄を行った。

(4) 発振端に接した面の方が裏面より洗浄され易い。裏面もかなり洗浄作用をうけている。以下の実験では1分間照射後汚染布を裏返して洗浄液を新鮮なものと取替え、更に1分間照射する方法をとった。

(5) 照射時間と汚染の除去の関係は最初の30秒位までは急速に増加するがカーボンと流動パラフィン、牛脂による木綿汚染布に関する限り後は飽和値に達し照射を続行しても大して効果は上らない。

(6) 洗浄される部分は汚染布を固定した場合は発振端の面積だけで、その周辺はあまり洗浄されない。以下の実験では照射中布を滑らせ径約3.5cm程度の面積について超音波洗浄を行った。

(7) 超音波の2分間照射で 50cm^3 の洗剤水溶液の液温上昇は約 3°C 程度であるが、汚染布表面は $5^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 温度が上昇しているものと思われる。

(8) 汚染布の材質如何にかかわらず被洗布の顕微鏡観察の結果表面の繊維の状態は何等の損傷も乱れも生じていない。* 発振端子が布に接触するとやや損傷をうけるようである。

* 染色布の変色、褪色もこの時間では生じない。

上記の(1), (2)の結果はこの程度の強力な超音波ではキャビテーションによる気泡の発生により音波の散乱吸収が大きくなることから説明されるものと思われる。

3. 試験布とその汚染の方法及び種類

本研究に使用した試験布はすべて予じめ二回電気洗濯機で洗浄したものである。その特徴は第1表に示す。

主としていわゆる人工汚染布について試験を行い、木綿以外の布地に対しても洗浄力試験法委員会の処法に準じて汚染を行った。即ちカーボンブラック0.3g, 流動パラフィン1.5g, 極度硬化牛脂0.5gを四塩化炭素400g中に振盪分散した液に漬けて汚染した。

その他の試験を行った汚染布は墨汁汚染布(市販の墨汁を水で5倍に薄めた液で汚染したもの), 油汚染布(流動パラフィンに着色せしめるためオレンジOTを溶解せしめた液で汚染, 乾燥できないので新聞紙にはさみ保存したもの), マジックインキ汚染布(マジックインキをシンナーで薄めた液に漬けて汚染したもの), 乾式人工汚染布(砂とカーボンブラックの混合物を布地にすりつけて汚染したもの, 当学田中教授ら考案の装置による¹⁰⁾)などである。

4. 洗浄効率測定法

すべて定法に従い洗浄効率を求めた。即ち島津ベックマン型光電分光光度計により波長500m μ において酸化マグネシウム白板を100として原布, 汚染布, 洗浄後の布のそれぞれの反射率 R_0 , R_1 , R_2 を測定し次式により洗浄効率Eを求めた。

$$E = (R_2 - R_1) / (R_0 - R_1)$$

各実験は3枚づつ行いその平均値をとった。Eのバラッキは人工汚染布では数%程度であった。なお洗浄後の布は1分間流水で洗った。

実験結果及びその考察

1. 人工汚染布—洗剤水溶液

第2表に市販ゲンブ粉末石けん0.3%水溶液(液温28°C~32°C)で洗浄した結果を示す。上段

第1表 各種試験布の特性

試験布	組 織	密度*		原布反射率(%)	色
		緯	経		
木 綿	ブ ロ ード	52	32	82.5	白
本 絹	平 織	68	40	77.2	白
人 絹	朱 子 織	50	28	82.5	白
テトロン	東レ・クレボン	60	44	64.7	うす青
カシミロン	モ ス リ ン	28	28	63.4	うすピンク

* 密度は1 cm間の本数である。

布はすべて100%製品で他繊維との混織品ではない。

U.Sは超音波洗浄, 下段は手もみ洗いの洗浄効率である。手もみ洗いも同様1分間洗って後洗浄液を新鮮なものと取り替え更に1分間手もみ洗いを続け, 流水で1分間すすぎ洗ったものである。木綿においては手もみ洗いに比し超音波による洗浄率ははるかに勝れている。絹においてもこの傾向は見られるが

第2表 人工汚染布 U.S と手もみ洗いの比較、経過日数と洗浄効率

汚染布の経過日数		1	7	14	21	28	3ヶ月
		汚染布反 射率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)
木綿	U.S	31.2	93.6	98.6	91.8	90.1	96.1
	手もみ洗い		66.9	68.0	64.1	64.1	62.8
本絹	U.S	24.8	100.5	97.7	96.4	94.3	95.4
	手もみ洗い		86.0	91.4	89.3	90.4	92.4
人絹	U.S	31.0	94.2	98.8	90.7	85.8	97.5
	手もみ洗い		99.6	100.0	99.8	98.8	100.6
テト ロン	U.S	34.6	97.3	102.7	92.0	92.0	92.7
	手もみ洗い		106.3	104.0	96.0	93.4	100.7
カシ ミロン	U.S	22.2	99.5	101.2	97.6	92.5	98.1
	手もみ洗い		92.0	95.6	96.4	92.9	97.6

人絹、テトロン、カシミロンにおいては殆んど両者の差は見られない。これらの繊維に対しては洗浄効率が何れも高くこれらの汚染が繊維に対して弱く結合しているので超音波洗浄のような強い機械力を必要としないからであろう。なおいずれの繊維に対してもこのいわゆる人工汚染布の時間的経過は殆んど洗浄効率に影響を与えないが3カ月経過の場合のみ僅かに低下するようである。

2. 墨汁汚染布—洗剤水溶液

第3表に結果を示す。洗剤溶液はゲンブ粉末石けん0.3%水溶液で液温は27°C~33°Cである。墨汁汚染布ではバラッキが大きい洗浄効率は汚染後の時間が経過すると共に悪くなる。24時間経過後の洗浄の場合についていえば手もみ洗いに比し超音波洗浄の効率ははるかに大きい。木綿以外は超音波によりかなり洗浄されテトロン布を除いては汚染後時間が経過するに従って超音波では洗浄され難くなる。木綿布の場合手もみ洗いでは時間が経っても効率はほぼ一定であるのに対して超音波洗浄の効率は時間の経過と共に悪くなり2週間後以上では逆転し手もみ洗いより効率は悪くなる。

第3表 墨汁汚染布 U.S と手もみ洗いの比較、経過日数と洗浄効率

汚染布の経過日数		1	7	14	21	28	24時間 後ご飯 粒塗布
		汚染布反 射率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)	洗浄効 率(%)
木綿	U.S	4.8	34.1	22.0	5.0	7.5	6.8
	手もみ洗い		18.4	—	21.1	19.6	21.1
本絹	U.S	5.6	92.2	90.5	84.8	36.9	—
	手もみ洗い		37.8	—	—	—	44.5
人絹	U.S	6.8	107.2	78.3	54.9	82.7	—
	手もみ洗い		64.5	—	—	—	16.6
テト ロン	U.S	8.5	101.1	100.0	120.6	95.9	94.7
	手もみ洗い		90.4	—	—	—	80.0
カシ ミロン	U.S	5.9	84.9	85.7	67.1	48.0	—
	手もみ洗い		26.4	—	—	—	12.7

3. 人工汚染布—各種洗液の比較

第4表は水、トリクロールエチレン、ゲンブ石けん0.3%溶液を洗液とした場合の超音波洗浄の比較である。

石けん水溶液に比して前二者の洗浄効率は一般によくない。木綿の場合はしかしながら水だけでもかなりの洗浄効率を示しトリクロールエチレンよりむしろ効率が低いことは興味がある。一方疎水性繊維であるテトロン特にカシミロンでは水によ

る洗浄効率は悪い。トリクロールエチレンは流動パラフィン、牛脂を溶解する溶剤であるが反射率測定に直接関係するカーボンブラックの分散に関して石けん溶液に及ばないのであろう。

4. 超音波洗浄と洗濯機の比較（人工汚染布について）

第5表に日立 SH-JT 40型電気洗濯機で5分間洗浄と超音波洗浄2分間の結果の比較を示す。洗浄液温度は中性洗剤（ニッサン7）28°C，ゲンブ粉末石けん32°C，超音波洗浄液28°C～33°Cであった。汚染布はナイロン布（50cm×45cm）に無作為に縫いつけ他に増量物としてタオル手拭3枚（約200g）を加え洗浄液30ℓ中で電気洗濯機を駆動した。浴比は約150倍，一方超音波洗浄では約170倍である。人絹，テトロン以外は超音波洗浄の方が効率は大きい。人絹の場合電機洗濯機の方が優位にあるのはその繊維の化学的組成によるというよりむしろその織り方の緻密性によるものに思われる。テトロンも目のつんだ変り織りである（第1表参照）。

5. パラフィン・オレンジOT汚染布—各種洗液

第6表に結果を掲げた。テトロン，カシミロンを除いて反射率から洗浄効率を得るために指示薬として加えたオレンジ OT が繊維に染着する傾向があるので（特に木綿においては著しいが）油污れの洗浄を調べる方法としてはあるいは適當ではなかったかもしれない。木綿の場合効率の低いのは恐らく染着によるもので流動パラフィンが残存しているためではなからう。しかしながら手もみ洗いに比し絹特にカシミロンの場合超音波の効果が著しいことが読みとれる。また人絹において石

第4表 人工汚染布 超音波洗浄（洗浄液の種類と洗浄効率）

	汚染布反射率 (%)	水 洗	トリクロール エチレン	ゲンブ石けん 0.3%
		洗浄効率(%)	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)
木 綿	31.2	80.1	68.2	91.8
本 絹	24.8	49.3	92.4	96.4
人 絹	31.0	31.7	44.5	90.7
テ ト ロ ン	34.6	18.0	89.4	92.0
カシミロン	22.2	0	82.3	97.6

第5表 人工汚染布（U.Sと洗濯機の比較）

	汚染布反射率 (%)	洗濯機・ニッサン7 (0.3%)	洗濯機・ゲンブ石けん (0.3%)	U.S. ゲンブ石けん (0.3%)
		洗浄効率(%)	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)
木 綿	31.2	25.1	54.0	90.1
本 絹	24.8	59.1	61.8	94.3
人 絹	31.0	88.9	92.6	85.8
テ ト ロ ン	34.6	59.8	96.3	92.0
カシミロン	22.2	40.8	65.8	92.5

けんの濃度と共に洗浄効率の増加は著しい。超音波は石けんミセル中への可溶化を大いに促進する働きがあることがこの実験事実に関連しているものと考えられる。ダイフロンS3はC₁₂F-CClF₂を主成分とし比重が重く表面張力の低い弗素系有機溶剤で機械，映画用フィルム

の超音波洗浄用に推奨せられているものであるがこの洗浄に関する限りトリクロールエチレンに比し効率は悪い。

6. マジックインキ汚染布

第7表に掲げたがテトロンを除き超音波洗浄でも一般に効率はよくない。黒いマジックイン

第6表 パラフィン・オレンジOTによる汚染布

	汚染布反射率 (%)	手もみ洗い ゲンブ石けん 0.3%	U.S ゲンブ石けん 0.3%	U.S ゲンブ石けん 5%	U.S ゲンブ石けん 10%	U.S トリクロール エチレン	U.S ダイフロン
		洗浄効率(%)	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)
木 綿	11.9	40.8	48.2	49.2	49.6	54.9	48.8
本 絹	36.9	45.3	82.1	87.8	—	54.9	54.9
人 絹	13.9	51.5	50.0	96.1	95.8	89.3	43.1
テトロン	47.6	109.9	107.0	—	—	87.1	74.2
カシミロン	17.1	77.5	101.0	—	—	102.0	100.0

キを使用したマジックインキは油性色素と油性高分子を有機溶剤に溶解したものである。洗浄(1)は0.3%ゲンブ石けん液2分間洗浄後乾燥し四塩化炭素で2分洗浄し更に再び0.3%ゲンブ石けん液で2分間洗浄を行ったもの、(2)は同じ順序同じ時間であるがただ石けんの濃度を10倍にして

第7表 マジックインキによる汚染布

	汚染布反射率 (%)	洗浄液 (1)	洗浄液 (2)
		洗浄効率(%)	洗浄効率(%)
木 綿	5.1	38.4	36.8
本 絹	4.4	53.5	68.5
人 絹	5.0	41.3	47.2
テトロン	5.6	51.3	81.4
カシミロン	5.2	38.8	67.0

第8表 人工汚染布(木綿)石けん溶液濃度と洗浄効率

ゲンブ粉 未石けん溶液 濃度(%)	汚 染 布 A	汚 染 布 B
	汚染布反射率 26.0%	31.2%
	洗浄効率(%)	洗浄効率(%)
10	78.6	91.2
7.5	78.5	90.1
5.0	76.0	91.4
2.5	79.9	95.7
1.0	80.7	92.4
0.5	80.0	93.2
0.3	79.2	96.3
0.1	81.1	—
0.05	81.1	—
0.01	71.3	—
0.005	70.8	—
0	40.2	65.3

3.0%で行ったものである。この方法により効率をかなり上げることができたがマジックインキの完全なしみぬきは超音波洗浄でも不可能であった。実験5と同様あるいは色素の繊維への染着が生じている可能性もあろう。

7. 人工汚染布—石けん濃度の関係

通常の洗浄では石けん濃度が0.2~0.3%で効率が極大を示すことが数多く報告せられている。しかし機械力の格段に大きい超音波を使用した場合に果して同じような結果が得られるか、むしろ第6表の人絹の油汚染布のようにミセルへの可溶化の影響が超音波により促進せしめられて高濃度において効率が増加するのではなかろうかとの予想の下に木綿人工汚染布に対して石けん濃度を広範囲に亘って変えた洗浄結果を第8表に示す。汚染布A及びBは汚洗浴及び経過日数の異なるものである。この数値からは確実な結論は出せないが洗剤の濃度を高くしても殆んど効率は一定でむしろ0.1%附近に僅か極大が存するように見え、これは通常の洗浄法の極大よりむしろ濃度の低い方にシフトしている。超音波の機械力が洗浄に必要な洗剤の量を一部補な

ったものとも考えられる。

8. 乾式汚染布の洗浄

第9表は種々の洗液中での乾式汚染布の超音波及び手もみ洗いの結果を表にしたものである。顕微鏡観察の結果湿式汚染布では繊維組織の内部までカーボンブラックが入りこんでいるのに対して乾式汚染布では表面にのみ付着しているので水道水による洗浄では絹とテトロンを除いては手もみ洗いの方が効率がよい。また油性の汚れが含まれていないので水道水による洗浄でも相当高い洗浄効率を示している。その順位は木綿>絹>テトロン>人絹>カシミロンで湿式汚染布の水道水による洗浄の順とよく似た傾向を示す。効率は悪いがダイフロンス3で洗浄した場合この布による差が一層明瞭となりテトロン、カシミロンでは0となる。

0.3%の石けん溶液で洗浄するとカシミロン>絹>テトロン>木綿>人絹と順位がほぼ逆転し洗浄効率は非常に増加する。

9. 再汚染防止のための助剤の効果

乳化分散した污垢粒子が繊維に再沈着するのを除く効果があるといわれているC.M.C^{(11), (12)}(カルボキシメチルセルローズ)と炭酸ソーダ⁽¹²⁾の二つの洗浄助剤の効果を検討するために行った実験を

第9表 乾式人工汚染布の洗浄

		木 綿	本 絹	人 絹	カシ ミロン	テトロン
		汚染布反射率 48.7%	57.6%	63.8%	57.5%	57.5%
		洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)
水 道 水	U.S	89.6	81.5	49.2	22.0	65.2
	手もみ洗い	91.3	37.9	83.9	49.1	40.2
ゲ ン プ 0.3%	U.S	73.4	100.0	58.8	100.0	83.3
	手もみ洗い		74.8	0	—	48.2
ダイフロ ン	U.S	49.9	32.8	13.6	0	0
	手もみ洗い		0	0	0	0

まとめて第10表に掲げた。序論でものべた如く超音波は凝集作用をも有するので再汚染防止が有効に行われれば洗浄効率は更に上昇することが期待せられる。第10表では人工汚染布は反射率の低いもの(平均23.6%)を選んで洗浄した。その他の布の汚染布は第5表のものとほぼ同じであるが作製後3ヵ月以上経過しているのでやや洗浄効率の

第10表 人工汚染布 助剤の 効果

	汚染布反射率 (%)	水 道 水	ゲ ン プ 0.3%	C. M. C 0.1%	ゲンブ 0.3 %+C.M. Co.1%	炭酸ソーダ 0.4%	ゲンブ 0.3 %+炭酸ソ ーダ 0.4%	C.M.C 0.1 %+炭酸ソ ーダ 0.4%
		洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)	洗浄効率 (%)
木 綿	23.6	33.1	60.2	59.7	62.3	43.2	71.1	51.2
本 絹	24.8	29.6	91.2	47.6	91.2	68.0	89.6	65.7
人 絹	31.0	6.6	76.5	—	72.0	24.0	80.1	28.3
テ ト ロ ン	34.6	0	91.0	0	93.3	0.1	80.3	33.8
カシミロン	22.2	0	87.6	0	91.7	0	91.7	3.3

低下がみられる。C. M. C 及び炭酸ソーダ単独及び両者を混合しただけの場合は水洗浄とさして変りはない。また石けんにこれら助剤を併用した場合は僅かに効果がみられうる程度にすぎない。要するに超音波の機械力が強すぎるせいこれら再汚染防止用助剤の効果は観察されなかった。

要 約

超音波洗浄について若干の考察を展開しその強力な機械力によって、実用的には特殊な洗浄法として、また基礎的には洗浄の機構を解明する有力な研究手段として期待できることを論じた。一連の予備実験を行い、つづいて木綿、絹、人絹、テトロン、カシミロンの布地に種々の汚垢を付着せしめ、各種の洗液に漬け超音波による洗浄試験を行った。手もみ洗い、電気洗濯機による洗浄との比較も試みた。主な実験結果を以下に大略する。

(1) 布—汚れ—洗液の組合せにもよるが他の洗浄法より部分的な汚れに対しては著効のある場合が多いが場合によっては逆に効果の劣る場合もある。超音波洗浄の適否、あるいは最大の洗浄効果をあげるための洗液組成、濃度などの選択については未だ一般則はえられていないが個々の場合について一応の考察を行った。

(2) 繊維及び汚れの親水性あるは親油性の程度、洗液の種類などのほかに汚れのつき方、布の織り方の緻密性なども超音波洗浄の効果に関係をもっている。

終りに乾式汚染布準備に協力された古作ケイ子氏及び予備実験ならびに湿式人工汚染布作製を手伝った学生乾とき氏に謝意を呈す。

本論文は昭和35年10月16日日本家政学会第12回総会（東京）及び昭和35年11月19日日本家政学会関西支部第16回研究会（大阪）で講演。

阿部けい子：大阪女子学園短期大学・昭和35年6月より11月まで大阪市立大学研修生。

文 献

- (1) 高橋勘次郎：実吉、菊池、能本編，“超音波技術便覧”，日刊工業新聞社，p. 115(昭和35年)。
- (2) 松田昇：超音波応用技術懇談会資料 **2**，21(昭和35年)。
- (3) 中垣正幸：“被服コロイド学”，柴田書店，p. 175(昭和34年)。
- (4) 佐多直康，奥山春彦：実吉、菊池、能本編“超音波技術便覧”，日刊工業新聞社，p. 1054(昭和35年)。
- (5) 能本乙彦：同上，p. 128 (昭和35年)。
- (6) 奥山春彦：コロイドと界面活性剤 **1**，309 & 368 (1960)。
- (7) 奥山春彦：超音波応用技術懇談会資料 **7**，233 (昭和36年)。
- (8) 矢部章彦・林雅子：“染色化学・被服整理学”，岩崎書店，p. 180 (昭和33年)。
- (9) 中垣正幸・島崎斐子：“被服整理学”，光生館，p. 44 (昭和33年)。
- (10) 田中道一・広田輝次：Proceedings of the second Congress on Testing Materials, 235(1959)。
- (11) 例えば，藤井清子・今岡小夜子：家政学雑誌 **11**，261 (1960)。
- (12) 中垣正幸：“被服コロイド学”，柴田書店，p. 184(昭和34年)。

Summary

Some considerations about washing of fabrics by strong ultrasonic irradiation have been developed. It is pointed out that this technique may be useful not only for practical purpose of removing some soils, but also for theoretical approaches to general washing mechanisms, since mechanical power is one of most important factors of the process.

Some experiments were performed by using the magnetostrictive transducer (25 K.C., 120W/cm²) and the data on percentage of soil removal were obtained by usual reflectance measurements of fabrics. Combinations of different fabrics, artificial soils and also washing liquids (including concentration of detergents) were altered widely. Detergencies were compared with home laundering machine or hand-washing.

In many cases ultrasonic was superior to ordinary washing procedures, however the cleaned area was limited. It was concluded that the application of ultrasonic irradiation was suitable for removal of special soils on limited area of fabric surfaces.